干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

吐鲁番市荒漠化风险动态变化及驱动力分析

孙桂丽[1,2]， 李 雪[1]， 刘燕燕[1]， 郑佳翔[1]， 马 婧[1]， 冉亚军[1]

（1. 新疆农业大学林学与风景园林学院，新疆 乌鲁木齐 830052；
2. 干旱区林业生态与产业技术重点实验室，新疆 乌鲁木齐 830052）

摘 要：荒漠化是当今最为严重的生态问题之一，开展荒漠化风险量化评估，有助于荒漠化风险调控，实现区域生态经济可持续发展。通过从气候、下垫面和社会经济等因素选取指标，构建吐鲁番市荒漠化风险评价体系，基于3S技术分析评估其2000—2018年的荒漠化风险程度，并采用地理探测器进行驱动力分析。结果表明：(1) 2000—2018年吐鲁番市荒漠化风险变化较大，总体呈现出局部变差整体向好的趋势，东部荒漠化风险程度高于西部地区。(2) 研究时段内吐鲁番市东部鄯善县的极高风险面积增加；西部托克逊县的极高风险范围得到控制，面积明显缩小；中部高昌区极低风险面积减少，低度风险分布较为稳定。(3) 单因子驱动力：起沙风天数、第一产业GDP、降水量、生境质量指数、牲畜数量、平均气温6个因子对吐鲁番市荒漠化风险影响较大；在两两指标交互作用中，起沙风天数与第一产业GDP、降水量、生境质量指数、平均气温、牲畜数量的相互耦合是影响荒漠化风险的主要因素。

关 键 词：荒漠化风险；动态变化；驱动力；吐鲁番市
文章编号：

荒漠化是目前最为严重的生态问题之一[1]，荒漠化的肆虐严重影响到人类的生存环境和社会经济发展[2]。据联合国粮农组织和环境规划署的资料统计，当前全球约1/5人口受荒漠化危害影响，约1/3的陆地面积受不同程度的荒漠化威胁[3-4]。荒漠化不仅导致生态环境恶化，使人们可利用的生态资源减少，同时它加剧了贫富差距，不断侵蚀着生态、生产、生活空间，严重危及到社会经济发展和生态安全[5]。

当前，我国干旱、半干旱地区是荒漠化问题最为严重地区，众多学者开展了大量相关研究[5]，如张建香等[6]利用RS和GIS技术，构建黄土高原荒漠化风险体系，探究不同区域荒漠化风险的主要形成原因；努尔麦麦提·如孜等[7]基于RS和GIS技术，用植被覆盖度作为荒漠化评价指标，分析新疆和田地区荒漠化时空特征；李雨薇等[8]以锡林郭勒草原为研究区域，利用集对分析法、自然风险指数法构建荒漠化风险评价体系，对荒漠化灾害风险开展动态评估，但有关吐鲁番市的荒漠化研究主要集中在荒漠化土地分类、绿洲-荒漠生态系统交错带环境演变、荒漠化演变趋势等相关研究[9-11]，有关荒漠化风险的研究鲜有涉及。吐鲁番市地处极端干旱区，植被稀疏，风沙灾害频繁，属于典型的荒漠区，生态环境极其脆弱，荒漠面积占吐鲁番市总面积的46.87%[9-10]。同时，该区为全国重点的特色旅游胜地和知名瓜果之乡，随着经济的高速发展，保护生态环境，使得支柱产业能够良性可持续的发展刻不容缓。因此，本文采用3S技术，对不同时期吐鲁番市的土地利用数据、自然环境、气候和社会经济数据进行收集、整理、分析，建立吐鲁番市荒漠化风险评价模型，分析区域荒漠化风险分布范围和变化规律，为未来吐鲁番市的荒漠化治理与防控提供理论依据，为改善区域生态环境提供科学参考。

1 研究区概况

吐鲁番市位于新疆维吾尔自治区中东部，地理

收稿日期：2021-06-18； **修订日期**：2021-10-17
基金项目：国家自然科学基金项目(41861046)；2021年三区人才项目资助
作者简介：孙桂丽(1979-)，女，教授，主要从事风险评估与生态恢复等方面的研究. E-mail: sxfgl@126.com

位置87°50′~91°10′E,42°30′~43°20′N,下辖高昌区、鄯善县、托克逊县(图1),西南与巴音郭楞蒙古自治州相接,东邻哈密,北隔天山与乌鲁木齐市及昌吉回族自治州接壤[10-11]。吐鲁番市地形复杂,三面高山环绕,中部低洼,是一个典型的封闭式盆地。北部为天山支脉博格达山,西面为喀拉乌山,中部火焰山将吐鲁番盆地一分为二,盆地内的艾丁湖其最低点-155 m,是吐鲁番市最低点,也是我国内陆最低洼地[12-14]。吐鲁番市属于暖温带大陆性干旱荒漠气候,风力强、气温高、昼夜温差大、日照时间长、降水少,因此得名"风库"、"火州"[15-16]。不同的地形、气候条件形成了独特的植被和土壤条件,植被种类多为耐旱、耐寒植物,而戈壁滩上大多寸草不生[17-18]。

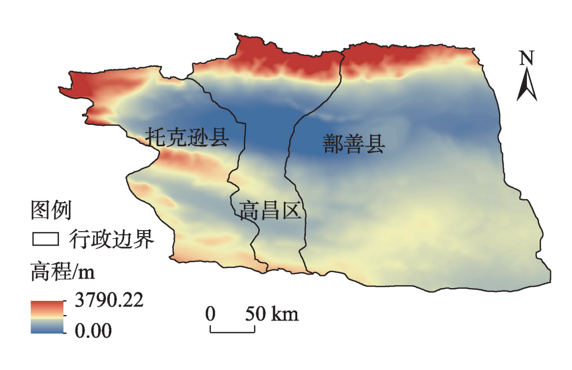


图1 研究区概况图

Fig. 1 Overview map of the study area

2 数据与方法

2.1 数据来源

土地利用数据来自云地理监测平台(http://www.dsac.cn/),将吐鲁番市的土地利用数据划分为"生活空间"、"生态空间"、"生产空间"。气象数据包括降水量、平均气温、起沙风天数、平均风速4个气象数据。下垫面数据包括植被覆盖度、生境质量指数、坡度、坡向。社会经济数据包括人口密度、牲畜数量、第一产业GDP。数据来源与处理见表1。

2.2 研究方法

(1) 生境质量指数

根据吐鲁番市的土地分类二级矢量数据计算生境质量指数[19-20],公式如下:

$$A = A_{bio} \times \frac{\sum_{i=1}^{6} \beta_i \times M_i}{Z} \quad (1)$$

式中:A_{bio}为县级生境质量归一化系数(参考值为511.264);β_i为第i类土地结构类型的权重系数,各土地类型权重为林地0.35、草地0.21、水域0.28、耕地0.11、建设用地0.04、未利用地0.01;M_i为区域内某类土地类型的面积;Z为吐鲁番市各县区域的面积。

(2) 指标标准化

荒漠化风险评价指标包括正向和负向指标,正向指标指该指标值越大,荒漠化风险越低,反之亦然,植被覆盖度、生境质量指数、降水量、第一产业GDP为正指标。起沙风日数、平均气温、平均风速、坡度、坡向、人口密度、牲畜数量为负指标。正负向指标处理方法[21-22]见公式(2)和公式(3):

$$F_i = \frac{f_i - f_{min}}{f_{max} - f_{min}} \quad (2)$$

表1 数据来源与数据处理

Tab. 1 Data source and data processing

名称	数据来源	数据处理
土地利用数据	吐鲁番市的2000、2005、2010、2015、2018年土地利用数据来自云地理监测平台(http://www.dsac.cn/),精度30 m。	基于Landsat遥感影像经过校准得到2000、2005、2010、2015、2018年的二级分类矢量数据。
气象数据	降水量、平均气温来源于中国科学院资源环境科学数据中心,起沙风天数、平均风速来源于中国气象数据网,均为气象站点数据。	所选2000、2005、2010、2015、2018年数据在ArcGIS里进行反向距离加权平均空间插值处理。
下垫面数据	包括2000、2005、2010、2015、2018年植被覆盖度、生境质量指数、坡度、坡向。坡度、坡向数据来源于地理空间数据云,分辨率为90 m;植被覆盖度的提取基于NDVI数据。	在ArcGIS中利用栅格计算器计算吐鲁番市的植被覆盖度,生境质量指数见研究方法。
社会经济数据	2000、2005、2010、2015、2018年人口密度、牲畜数量(包括牛、羊、猪、马)、第一产业GDP(农、林、牧、渔)。人口数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心;牲畜数量、第一产业GDP来源于2001、2006、2011、2016、2019年的新疆统计年鉴。	在ArcGIS里将数据进行空间化处理,然后转换成统一的格式和栅格大小。

$$F_i = \frac{f_{\max} - f_i}{f_{\max} - f_{\min}} \tag{3}$$

式中：F_i为评价指标i的标准化值；f_i为评价指标i的原始值；$f_{\max}$、$f_{\min}$分别为评价指标i的最大值和最小值。

（3）荒漠化风险综合评估

荒漠化风险[23-24]计算公式如下：

$$R = \sum_{i=1}^{n} F_i \times W_i \tag{4}$$

式中：R为荒漠化风险指数；F_i为第i种指标的标准化值；W_i为第i种指标所占权重。其中，R值越大表示风险指数越低；R值越小表示风险性指数越高。

荒漠化风险转移矩阵[25-26]，用以分析荒漠化风险的转移方向和转移面积，计算公式如下：

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & \cdots & S_{2n} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & \cdots & S_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & S_{n3} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \tag{5}$$

式中：S_{ij}为土地类型i转变为类型j的概率；n为地类数目。

荒漠化风险多度指数、重要度指数[26-27]计算公式如下：

$$D_{ij} = N_{ij}/N \times 100\% \tag{6}$$

$$\mathrm{IV}_{ij} = D_{ij} + B_{ij} \tag{7}$$

式中：D_{ij}为i区域j类型荒漠化风险的多度指数；N_{ij}为i区域j类型荒漠化风险的斑块数；N为各研究区域全部风险类型的斑块数；IV_{ij}为i区域j类型荒漠化风险的重要度指数；B_{ij}为i区域j类型荒漠化风险的面积占i区域总面积的百分比。多度指数越高，说明该风险等级分布越广泛，斑块数量较多，但并不能说明其面积大小，反之亦然；重要度指数越高，说明该风险等级影响越大，占据的主导地位越高，反之亦然。

（4）荒漠化风险驱动力分析

荒漠化风险驱动力采用地理探测器模型进行分析，包括因子探测和交互作用探测[28-30]，具体计算公式如下：

$$q = 1 - \frac{\sum_{c}^{t} n_c s_c^2}{N s^2} \tag{8}$$

式中：q值为自变量指标（X）对于荒漠化风险（Y）影响程度，q取值范围在0~1，q值越大，表明该自变量指标与荒漠化风险之间的相关性越强，反之越弱；N为全区内所有样本数；s^2为研究区域内荒漠化风险评价指标的总方差；n_c为某个分区的样本数；s_c^2为某个分区内荒漠化风险评价指标的方差。

地理探测器驱动力分析的交互作用探测用以识别不同评价指标之间的相互作用，即评价指标X_1和X_2共同作用时对荒漠化风险Y的影响情况。其方法为先分别计算2个评价指标（X_1、X_2）对荒漠化风险（Y）的q值，即$q(X_1)$和$q(X_2)$；然后再分别计算该评价指标交互作用时的q值，即$q(X_1 \Omega X_2)$；最后将$q(X_1)$和$q(X_2)$之和与$q(X_1 \Omega X_2)$进行比较，根据q值的大小结果可分为非线性增强、单因子非线性减弱、双因子增强、独立和非线性增强5种情况。

2.3 荒漠化风险评价指标确定

总结分析前人的研究[2,4,6-8,24,26]，同时依据研究区域的实际情况，选择气候因素（降水量、平均气温、起沙风天数、平均风速），下垫面因素（坡度、坡向、植被覆盖度、生境质量指数），社会因素（人口密度、牲畜数量、第一产业GDP）作为研究区域荒漠化风险评价的影响指标。其确定依据如下：

由于吐鲁番市属于大陆性干旱荒漠气候，降水量少，气温高是该地的显著性气候特点[9-10]，降水量和平均气温两者是相辅相成的，降水量少平均气温高，则该地的空气干燥、土壤含水量少，植被的生长环境恶劣，将会造成部分植物生长不良甚至其环境不适宜部分植物生长，植被覆盖度较低则会影响该地的防风治沙效果[4,8]。吐鲁番市频繁发生8级以上的大风，且更大风力的天气也偶有发生。而由于该地的土壤质地干燥，大风天气时其风速很容易带动地表的细小颗粒造成风沙危害，进而加重荒漠化风险状况。因此，结合吐鲁番市当地的气候状况选取荒漠化风险评价的气候因素指标。

植被覆盖度是衡量荒漠化程度的一个重要指标，植被覆盖越高，该地的荒漠化越轻，其荒漠化风险也就越小，反之亦然[5,8]。生境质量指数是根据生态环境状况评价技术规范标准进行计算用以衡量其土地利用程度，其越高，表明该地的生态状况越好，其荒漠化风险也就越小，反之同理[8,24]。吐鲁番市的地貌特点是四面环山，中部横亘火焰山，北面山脉坡度较为陡峭，南面山脉较为平缓[11-13]。不同的坡度、坡向，其光照强弱、风力大小、自然环境状况差异都会很大，这些在很大程度上都会影响荒漠

化风险程度。

荒漠化的发生受社会因素制约很大,比如人口增长过快挤压生态空间、在注重经济增长的同时忽略对自然环境的破坏[1-2,7],这都会影响荒漠化风险的严重程度。吐鲁番市的经济发展主要依赖于第一产业[10,14-16],若第一产业面积不断增长不仅可增加人们的经济收入,同时也表明该地的荒漠化状况在向好改变,土地质量在不断增加,荒漠化风险程度也就越轻。牲畜对土壤植被的啃食严重影响到一个地区的荒漠化风险程度,若牲畜数量过多放牧地点过于集中,则该地的植被状况会较差,严控牲畜数量有助于减轻荒漠化风险程度。通过层次分析法获得各指标因子权重如表2所示。

3 结果与分析

3.1 吐鲁番市荒漠化风险评价

3.1.1 吐鲁番市荒漠化时空分布 利用荒漠化风险公式(4)计算得到吐鲁番市荒漠化风险(图2)。在ArcGIS中通过利用重分类将吐鲁番市的风险值($321.42×10^{-3}$~$737.39×10^{-3}$)采用自然断点法划分为5个等级:极高风险、高度风险、中度风险、低度风险、极低风险。

图2可以看出,吐鲁番市的荒漠化风险分布差异明显。2000—2018年吐鲁番市的荒漠化风险主要以极高风险和高度风险等级为主,中度风险和低度风险等级为辅,极低风险等级分布较少。2000年

表2 吐鲁番市荒漠化风险评价指标体系

Tab. 2 Evaluation index system of desertification risk in Turpan City

目标层	因子层	指标层	权重	属性
荒漠化风险评价	气候因素	降水量	0.1120	+
		平均气温	0.0564	–
		平均风速	0.0291	–
		起沙风天数	0.0462	–
	下垫面因素	坡度	0.0327	–
		坡向	0.0241	–
		植被覆盖度	0.1465	+
		生境质量指数	0.1454	+
	社会因素	人口密度	0.1576	–
		牲畜数量	0.0735	–
		第一产业GDP	0.1765	+

注:+为正向指标;–为负向指标。

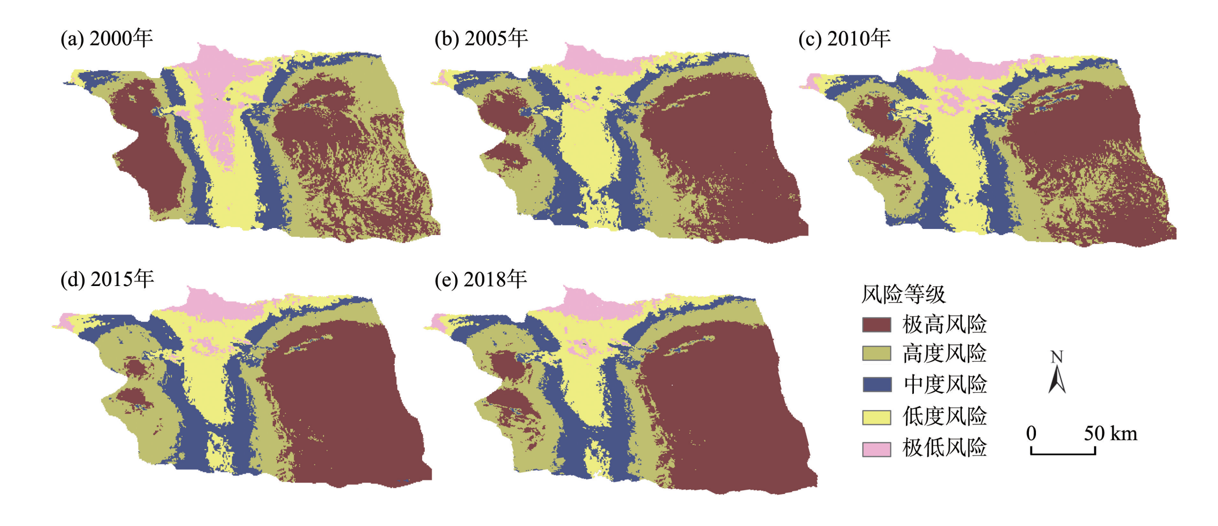


图2 吐鲁番市荒漠化风险分布

Fig. 2 Desertification risk distributions of Turpan City

吐鲁番市极高风险等级主要分布在西部托克逊县的库米什镇、伊拉湖镇、阿乐惠镇和鄯善县的中部和南部；高度风险等级分布较为广泛，在托克逊县和鄯善县的大部分地区均有分布；中度风险等级主要分布在高度风险和低度风险等级的交界地带；低度风险和极低风险等级主要分布在高昌区。至2005年，托克逊县的荒漠化风险等级明显降低，高昌区和鄯善县荒漠化风险等级升高。2010、2015年荒漠化风险等级整体与2005年相比变化幅度较小，但极低风险等级面积增加，风险等级有所降低。2018年吐鲁番市托克逊县的极高风险等级面积略微增加，主要增长地为托克逊县的博斯坦乡和库米什镇。

综上分析，吐鲁番市的荒漠化风险呈现局部变差整体向好的趋势，极高风险等级的面积在吐鲁番市东部鄯善县显著增加，其原因可能是东部鄯善县大部分土地是未利用地，该地域植被稀疏，地表覆盖程度较差，风沙危害现象频繁发生，气候干旱再配以恶劣的地形条件均会导致荒漠化风险加重。同时极高风险区面积总体在吐鲁番市西部托克逊县显著减少，其原因在于托克逊县是一个农业和畜牧业紧密结合的典型农业区，当草地畜牧严重再加之气候干旱和草地缺水等均会导致地被环境变差，而实施草原生态保护机制，划分禁牧区，控制牲畜数量，使生物多样性增加，草原生态得到明显改善，对荒漠化风险降低有一定影响[31-33]。

3.1.2 吐鲁番市荒漠化风险面积转移 通过公式(5)计算得出研究时段内吐鲁番市的荒漠化风险面积转移变化(表3)。2000—2005年吐鲁番市的荒漠化风险呈上升趋势，主要表现为荒漠化极低风险面

表3 2000—2018年吐鲁番市荒漠化风险面积转移矩阵

Tab. 3 Desertification risk area transfer matrix in Turpan City from 2000 to 2018

/km²

年份	风险等级	2005年				
		极高风险	高度风险	中度风险	低度风险	极低风险
2000年	极高风险	18129.98	4901.88	84.25	0.66	0.00
	高度风险	9861.46	8694.98	2038.37	4.00	0.00
	中度风险	2.44	1470.68	6616.03	836.46	7.41
	低度风险	0.00	1.23	2927.81	6743.81	364.25
	极低风险	0.00	0.00	13.62	3943.25	2107.37
年份	风险等级	2010年				
		极高风险	高度风险	中度风险	低度风险	极低风险
2005年	极高风险	23360.11	4454.11	187.93	0.64	0.00
	高度风险	1413.59	12014.36	1428.50	218.46	0.00
	中度风险	0.00	466.45	9156.23	1968.39	89.35
	低度风险	0.00	2.26	398.88	10022.84	1103.27
	极低风险	0.00	0.00	0.00	38.66	2446.64
年份	风险等级	2015年				
		极高风险	高度风险	中度风险	低度风险	极低风险
2010年	极高风险	22698.73	2058.63	15.16	0.00	0.00
	高度风险	5925.72	10437.82	582.51	0.30	0.00
	中度风险	134.03	2333.17	8350.27	363.01	0.00
	低度风险	0.00	201.34	2939.76	8786.99	326.99
	极低风险	0.00	0.00	61.10	682.70	2907.78
年份	风险等级	2018年				
		极高风险	高度风险	中度风险	低度风险	极低风险
2015年	极高风险	28556.53	205.05	4.12	0.00	0.00
	高度风险	2230.18	12642.02	150.23	1.28	0.00
	中度风险	19.60	1623.52	10127.96	162.51	0.18
	低度风险	0.00	2.41	1167.71	8511.66	138.62
	极低风险	0.00	0.70	2.75	410.42	2791.21

积减少,向低度风险等级转移;极高风险和高度风险等级相互转移,但正向转移较多,主要在鄯善县;总体来看,2000—2005年极低风险等级面积减少,极高、高度、中度风险面积增加,荒漠化风险等级上升。这一时期,吐鲁番市的牲畜数量大幅度增加,受干旱气候,超载放牧,草场生态压力加大,区域环境恶化等的影响,可能是导致其荒漠化风险加重的原因。2005—2010年吐鲁番市的荒漠化风险呈下降趋势,主要表现为极高风险面积减少,主要向高度风险等级转移;低度风险等级面积减少,主要向极低风险面积转移;中度风险等级面积减少,主要是向低度风险等级转移。

2010—2015年吐鲁番市的荒漠化风险等级表现出上升趋势,主要表现为相邻风险等级相互转化,但是高度风险等级向极高风险等级转移面积较多;低度风险等级、中度风险等级面积减少,主要向较高风险等级转移。综合来看,2010—2015年荒漠化风险等级增加,极高风险等级、高度风险等级、中度风险等级面积增加。2015—2018年吐鲁番市的荒漠化风险等级略增加,风险等级趋于稳定。近年来托克逊县的养殖场数量不断增多,天然草地压力增大,导致部分草场退化,这也许是荒漠化风险等级上升的原因之一[33-34]。

3.1.3 吐鲁番市荒漠化风险多度指数和重要度指数

根据公式(6)、(7)计算出吐鲁番市不同县市的荒漠化风险多度指数和重要度指数(表4、图3)。

从表4可知,各地区的多度指数差异较大。2000—2018年,高昌区多度指数最高的分别为中度风险、低度风险、极低风险,说明高昌区内中度、低度、极低风险分布最为广泛。其中,2000—2018年高昌区极高风险多度指数为0,表明高昌区的荒漠化风险程度较轻,生态环境较好;2010年中度风险的多度指数最高,说明高昌区中度风险在这段时间内最为分散,2005、2015、2018年低度风险的多度指

表4 吐鲁番市荒漠化风险等级的多度指数

Tab. 4 Abundance index of desertification risk grade in Turpan City /%

区域	极高风险	高度风险	中度风险	低度风险	极低风险
2000年					
高昌区	0.00	8.74	**27.18**	**41.75**	22.33
鄯善县	**33.18**	**54.79**	9.80	6.24	1.78
托克逊县	**21.43**	**37.76**	**24.49**	13.27	3.06
2005年					
高昌区	0.00	7.14	6.35	19.05	17.46
鄯善县	10.99	**62.27**	15.02	6.23	5.49
托克逊县	**20.57**	**39.72**	**21.99**	13.48	4.26
2010年					
高昌区	0.00	2.27	**57.95**	**21.59**	18.18
鄯善县	13.48	**66.67**	10.64	5.91	3.31
托克逊县	17.68	**35.36**	**31.49**	12.15	3.31
2015年					
高昌区	0.00	3.96	**34.65**	**38.61**	**22.77**
鄯善县	10.90	**40.38**	**21.79**	15.38	11.54
托克逊县	15.64	**22.64**	**38.68**	11.32	4.72
2018年					
高昌区	0.00	7.38	**33.61**	**36.89**	**22.13**
鄯善县	14.29	**37.01**	24.03	12.34	12.34
托克逊县	**31.67**	14.17	**38.33**	12.50	3.33

注:荒漠化风险等级的多度指数大的县市加粗显示。

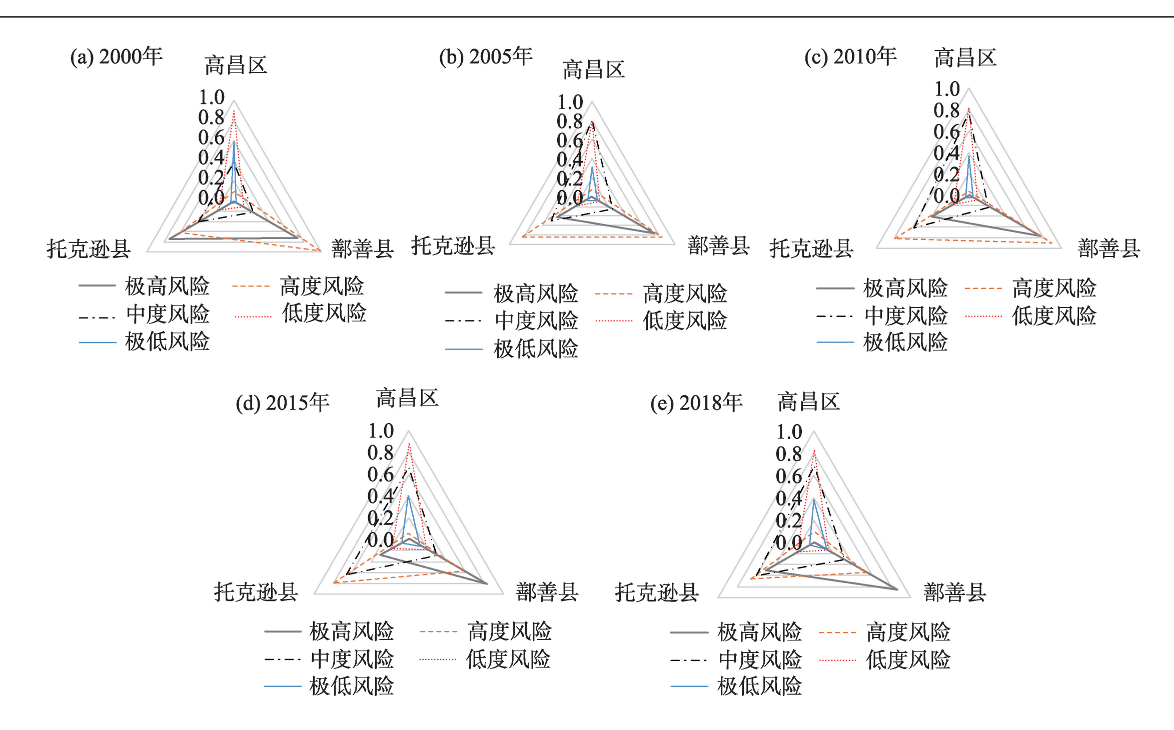


图3　吐鲁番市荒漠化风险等级的重要度指数

Fig. 3　Multi-importance index of desertification risk grade in Turpan City

数最高，说明这段时间低度风险在高昌区内斑块数最多，最为分散；在西部大开发的战略大背景下，研究区内通过调整产业结构，发展节水农业建设，促进水资源的合理配置，使得高昌区的生态环境得以维持一个良好的状态[32-33]。2000—2018年鄯善县多度指数最高的是高度风险，最高时可达66.67%，但其多度指数呈现先增后减态势，到2018年鄯善县高度风险的多度指数减少为37.01%，这说明在鄯善县高度风险分布最为广泛，鄯善县的极高风险多度指数在逐年下降，中度、低度、极低风险的多度指数在逐年上升，这三者的分布广泛程度在逐渐增加，极高风险的分布越发集中。2000—2015年托克逊县多度指数最高的是高度风险和中度风险，说明其斑块数最多，分布较为分散。到了2018年多度指数最高的是极高风险和中度风险，极高风险在托克逊县的分布区域有所扩大。2000—2015年极高风险多度指数呈逐年下降态势，极低风险和低度风险的多度指数变化不大，较为稳定。

由图3可知，2000—2018年吐鲁番市各区县的重要度指数都发生显著变化。高昌区的极高、高度风险重要度指数始终较小，中度、低度风险的重要度指数变化较小，极低风险的重要度指数2005年发生明显下降，2010—2018年又增长至一个稳定的状态，高昌区荒漠化风险程度始终是以低度风险和中度风险为主。2000—2018年鄯善县的极低、低度、中度风险的重要度指数始终维持一个较为稳定的态势，且指数值较小。鄯善县荒漠化风险始终是极高风险和高度风险占据主导地位，这与其境内库姆塔格沙漠存在，导致其生态环境较为恶劣有密切关系，但2000—2018年高度风险的重要度指数明显下降。2000—2015年托克逊县的重要度指数变化最为显著，极高风险的重要度指数逐年下降，且下降比例较大，中度风险在逐年增长，增长较为明显；2018年极高风险和高度风险的重要度指数有上升的迹象；托克逊县的荒漠化风险情况正在发生变化，极高风险占据主导地位的情况在逐渐改善。

3.2　荒漠化风险驱动力分析

3.2.1　单因子探测分析　通过地理探测器评估各评价因子与吐鲁番市荒漠化风险的相关性(表5)。结果表明：各评价因子的相关性指数(q值)并不太高，按照从大到小的排序为起沙风天数>第一产业GDP>降水量>生境质量指数>牲畜数量>平均气温>坡度>平均风速>人口密度>植被覆盖度>坡向。由此可知，吐鲁番市的荒漠化风险分布涉及的影响因素较多，并不存在单一因子主导其风险分布的变化。起沙风天数、第一产业GDP、降水量、生境质量指数、牲畜数量、平均气温6个因子的q值均大于0.1，对吐鲁番市2000—2018年荒漠化风险的分布

表5　单因子的相关性指数

Tab. 5　Correlation index of single factor

评价因子	相关性指数(q值)
起沙风天数	0.1989
第一产业GDP	0.1710
降水量	0.1666
生境质量指数	0.1451
牲畜数量	0.1410
平均气温	0.1373
坡度	0.0994
平均风速	0.0549
人口密度	0.0431
植被覆盖度	0.0427
坡向	0.0230

变化影响最大。人口密度、植被覆盖度、坡向对吐鲁番市的荒漠化风险的解释程度较低。

3.2.2 多因子交互探测分析　交互探测表明吐鲁番市荒漠化风险各个影响因子相互交互作用类型主要为双因子增强和非线性增强2种类型，说明了两两因子交互产生的影响均大于单因子对荒漠化风险的影响。其中，因子交互作用影响最大的双因子增强关系有10对（表6），非线性增强的有20对（表7）。从交互产生的作用大小来看，起沙风天数与第一产业GDP的交互指数最大，对荒漠化风险的分布变化具有最强影响，其次为起沙风天数∩降水量、起沙风天数∩生境质量指数、降水量∩第一产业GDP、起沙风天数∩牲畜数量、起沙风天数∩平均气温；而人口密度与牲畜数量、生境质量指数的交互值最低。同时，在因子交互作用中，坡度、起沙风天数、降水量与其他因子发生交互作用后对吐鲁番市荒漠化风险的影响性加大。

因子交互作用对吐鲁番市荒漠化风险影响的显著性检验结果（表8）。结果显示坡度与起沙风天数，平均风速与起沙风天数、降水量、第一产业GDP，起沙风天数与植被覆盖度、人口密度，降水量与人口密度、人口密度与第一产业GDP、牲畜数量、生境质量指数产生的交互作用对吐鲁番市的荒漠化风险分布具有显著性作用。而除起沙风天数外，坡度与其他因子，除植被覆盖度、人口密度外，起沙风天数与其他因子，除人口密度外，降水量与其他因子，平均气温与人口密度、第一产业GDP、牲畜数量、生境质量指数产生的交互作用对吐鲁番市的荒漠化风险分布所产生的影响不显著。

表6　主要因子的双因子增强结果

Tab. 6　Two-factor enhancement results of main factors

交互类型	交互值	交互类型	交互值
坡度∩降水量	0.2659	起沙风天数∩生境质量指数	0.3440
平均风速∩起沙风天数	0.2537	降水量∩平均气温	0.3039
牲畜数量∩生境质量指数	0.2861	降水量∩第一产业GDP	0.3376
起沙风天数∩降水量	0.3655	降水量∩牲畜数量	0.3076
起沙风天数∩牲畜数量	0.3399	降水量∩生境质量指数	0.3117

表7　主要因子的非线性增强结果

Tab. 7　Non-linear enhancement results of main factors

交互类型	交互值	交互类型	交互值
坡度∩起沙风天数	0.2982	植被覆盖度∩降水量	0.2093
坡度∩平均气温	0.2659	植被覆盖度∩第一产业GDP	0.2137
坡度∩人口密度	0.2367	平均气温∩第一产业GDP	0.3083
坡度∩牲畜数量	0.2703	平均气温∩牲畜数量	0.2783
平均风速∩第一产业GDP	0.2259	平均气温∩生境质量指数	0.2824
坡向∩起沙风天数	0.2219	人口密度∩第一产业GDP	0.2141
起沙风天数∩植被覆盖度	0.2416	人口密度∩牲畜数量	0.1841
起沙风天数∩平均气温	0.3362	人口密度∩生境质量指数	0.1882
起沙风天数∩人口密度	0.2420	第一产业GDP∩牲畜数量	0.3120
起沙风天数∩第一产业GDP	0.3699	第一产业GDP∩生境质量指数	0.3161

表8 各因子交互作用显著性检验

Tab. 8 Significance test of each index interaction

评价因子	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}
X_1											
X_2	N										
X_3	N	N									
X_4	Y	Y	Y								
X_5	N	N	N	Y							
X_6	N	Y	Y	N	Y						
X_7	N	N	Y	N	N	N					
X_8	N	N	N	Y	N	Y	N				
X_9	N	Y	Y	N	Y	N	N	Y			
X_{10}	N	N	Y	N	Y	N	N	Y	N		
X_{11}	N	N	Y	N	Y	N	N	Y	N	N	

注：Y表示通过0.05显著性检验；N表示未通过0.05显著性检验。X_1为坡度；X_2为平均风速；X_3为坡向；X_4为起沙风天数；X_5为植被覆盖度；X_6为降水量；X_7为平均气温；X_8为人口密度；X_9为第一产业GDP；X_{10}为牲畜数量；X_{11}为生境质量指数。

4 讨 论

本研究从气候因素、下垫面因素和社会经济因素3个方面选取11个指标，利用加权综合评分法和层次分析法构建吐鲁番市荒漠化风险评价体系，对吐鲁番市的荒漠化风险情况进行时空分析。结合面积变化和时空分布，吐鲁番市荒漠化风险状况总体呈现局部变差整体向好的趋势，局部变差主要是东部鄯善县的极高风险面积增加，这也直接影响吐鲁番市整体荒漠化风险情况，西部托克逊县极高风险范围基本控制至较小范围内，面积缩减明显，中部高昌区荒漠化风险程度基本稳定。

近18 a，研究区域东部荒漠化风险程度加重，是自然和人为2个因素共同作用的结果，该区域地处极度干旱地区，水资源极度短缺，再加之过量开采，土地盐碱化加重[35-36]。同时该地区以沙漠、裸地、盐碱地等未利用地为主，有机质含量较低，不利于植物生长，物种多样性贫乏，植被稀疏，在张锦春[36]的研究中也验证了这一点。而西部和中部荒漠化风险朝着向好的态势稳定发展，吐鲁番市西部托克逊县愈加注重天然草场的生态保护，实行划分禁牧区、封山育草、加大人工种植优质草料的力度，草原生态恢复明显加快。同时又注重实施保护性耕作技术，2011年托克逊县共新建保护性耕作示范田667 hm^2，有利于荒漠化风险降低。高昌区的产业结构调整，系统性的发展高效节水农业，增加绿洲面积，也正在逐步改善区域内的荒漠化风险程度。

本研究利用叠加处理法分析不同空间类型的荒漠化风险程度和利用地理探测器分析荒漠化风险的驱动力因素。根据地理探测器的综合因子和交互作用探测可知，起沙风天数、第一产业GDP、降水量、生境质量指数、牲畜数量、平均气温是导致吐鲁番市荒漠化风险空间差异的主要因素。吐鲁番市属于暖温带大陆性干旱荒漠气候，蒸发量大，降水稀少，适宜的气温和降水使北部和西部的植被覆盖度较好，绿地面积呈现片状、团状分布，东部区域紧邻沙漠，生态状况有利于植被和农作物的生长，气温偏低则不利于植物的正常发育，气温偏高、降水稀少、风沙频繁更易造成旱灾，导致荒漠化风险加重，这与张国龙、熊鹰等[37-38]的研究结果一致。吐鲁番市西部通过围栏封育、计划放牧、加强人工草地的种植力度等措施促进牧草产业发展，同时因托克逊县的草地缺水面积大，其天然草地缺水面积占草地总面积的58.5%，高强度放牧加之气候干旱、水资源缺乏如此造成一个恶性循环[39-41]，都会影响其荒漠化风险程度。

5 结 论

（1）吐鲁番市荒漠化风险面积变化较大，呈现出局部变差整体向好的总体趋势。吐鲁番市东部鄯善县的极高风险面积增加；西部托克逊县的极高风险范围得到控制，面积明显缩小；中部高昌区的极低风险面积减少，低度风险较为稳定。

（2）吐鲁番市各县市的多度指数和重要度指数

变化基本保持一致的变化态势,以鄯善县的多度指数和托克逊县的重要度指数变化显著。

(3)单因子检测结果表明起沙风天数、第一产业GDP、降水量、生境质量指数、牲畜数量、平均气温6个指标因子对吐鲁番市2000—2018年荒漠化风险变化的驱动力影响较大。在两两指标交互作用中,起沙风天数与第一产业GDP、降水量、生境质量指数、平均气温、牲畜数量的相互作用是促使吐鲁番市荒漠化风险的主要驱动力。

参考文献(References)

[1] 郭瑞霞, 管晓丹, 张艳婷. 我国荒漠化主要研究进展[J]. 干旱气象, 2015, 33(3): 505-513. [Guo Ruixia, Guan Xiaodan, Zhang Yanting. Main advances in desertification research in China[J]. Journal of Arid Meteorology, 2015, 33(3): 505-513.]

[2] 同丽嘎, 宁小莉, 张靖, 等. 近30 a浑善达克沙地沙漠化时空演变特征及驱动机制研究[J]. 干旱区地理, 2021, 44(4): 992-1002. [Tong Liga, Ning Xiaoli, Zhang Jing, et al. Spatial-temporal variation and driving mechanism of desertification[J]. Arid Land Geography, 2021, 44(4): 992-1002.]

[3] 白蓉. 我国新疆地区荒漠化现状、成因及对策的研究[J]. 中国林业经济, 2017(2): 81-82. [Bai Rong. Study on the present situation, causes and countermeasures of desertification in Xinjiang[J]. China Forestry Economy, 2017(2): 81-82.]

[4] 李雨薇. 锡林郭勒草原荒漠化灾害风险评价[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2018. [Li Yuwei. Study on risk assessment of desertification disaster in Xilin Gol grassland[D]. Hohhot: Inner Mongolia University, 2018.]

[5] 袁月. 吐鲁番盆地地下水功能区划分析[D]. 北京: 中国地质大学, 2020. [Yuan Yue. Analysis of groundwater function zoning in Turpan Basin[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2020.]

[6] 张建香, 张多勇, 刘万锋, 等. 基于ESAI的黄土高原荒漠化风险评估[J]. 水土保持通报, 2017, 37(2): 339-344, 353. [Zhang Jianxiang, Zhang Duoyong, Liu Wanfeng, et al. ESAL based assessment of desertification risk in Loess Plateau[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(2): 339-344, 353.]

[7] 努尔麦麦提·如孜, 王雪梅. 新疆和田地区土地荒漠化时空特征分析[J]. 生态与农村环境学报, 2020, 36(7): 870-878. [Ruzi Nuermaimaiti, Wang Xuemei. Analysis on the characteristics of spatial and temporal changes for land desertification in Hotan area, Xinjiang[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2020, 36(7): 870-878.]

[8] 李雨薇, 刘静, 银山, 等. 锡林郭勒草原荒漠化灾害风险动态评价[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2019, 51(3): 143-151. [Li Yuwei, Liu Jing, Yin Shan, et al. Dynamic risk assessment of desertification disaster in Xilingol grassland[J]. Journal of Northeast University (Natural Science Edition), 2019, 51(3): 143-151.]

[9] 麦尔哈巴·麦提尼亚孜. 吐鲁番绿洲生态-生产-生活承载力演变趋势研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2015. [Maitiniyazi Maierhaba. Study on the evolution trend of eco-production-life system carrying capacity of Turpan oasis[D]. Urumqi: Xinjiang University, 2015.]

[10] 商佐. 吐鲁番盆地地下水动态特征及控制性水位分析[D]. 北京: 中国地质大学, 2020. [Shang Zuo. Analysis of groundwater dynamic characteristics and controlling water level in Turpan Basin[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2020.]

[11] 裴欢, 魏勇, 房世峰, 等. 基于SPOT高分辨率遥感数据的绿洲荒漠化土地分类方法——以吐鲁番绿洲为例[J]. 资源科学, 2011, 33(6): 1204-1210. [Pei Huan, Wei Yong, Fang Shifeng, et al. Classification of oasis desertification land based on SPOT high spatial resolution imagery: A case study of the Turpan oasis in Xinjiang[J]. Resource Science, 2011, 33(6): 1204-1210.]

[12] 张琴琴, 瓦哈甫·哈力克, 袁玉芸, 等. 吐鲁番市土地利用与生态环境协调发展分析[J]. 河北大学学报(自然科学版), 2017, 37(1): 71-79. [Zhang Qinqin, Halike Wahafu, Yuan Yuyun, et al. Analysis on the coordinated development between land use and ecological environment in Turpan City[J]. Journal of Hebei University (Natural Science Edition), 2017, 37(1): 71-79.]

[13] 宁岸新. 基于Landsat TM/OLI数据的吐鲁番绿洲土地利用/覆被变化研究[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(16): 64-67. [Ning Anxin. Study on land use/cover change in Turpan oasis based on Landsat TM/OLI data[J]. Journal of Anhui Agriculture, 2016, 44(16): 64-67.]

[14] 曹国亮, 李天辰, 陆垂裕, 等. 干旱区季节性湖泊面积动态变化及蒸发量——以艾丁湖为例[J]. 干旱区研究, 2020, 37(5): 1095-1104. [Cao Guoliang, Li Tianchen, Lu Chuiyu, et al. Dynamic variation and evaporation of seasonal lakes in arid areas: A case study for the Aiding Lake[J]. Arid Zone Research. 2020, 37(5): 1095-1104.]

[15] 古丽夏提·哈力克. 吐鲁番盆地土地利用时空变化对坎儿井的影响研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2017. [Halike Gulixiati. The influence of land use changes in time and space in Turpan Basin on Karez[D]. Urumqi: Xinjiang Normal University, 2017.]

[16] 刘亚文. 吐鲁番市绿洲时空格局变化及其驱动因素分析[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2019. [Liu Yawen. Analysis of temporal and spatial pattern changes and driving factors of oasis in Turpan City[D]. Urumqi: Xinjiang University, 2019.]

[17] Huang J, Zhang W, Zuo J P, et al. An overview of the semi-arid climate and environment research observatory over the Loess Plateau[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2008, 25: 906-921.

[18] Han Z, Tao W, Yan C, et al. Change trends for decertified lands in the Horqin Sandy Land at the beginning of the twenty-first century[J]. Environmental Earth Sciences, 2010, 59: 1749-1757.

[19] 康紫薇, 张正勇, 位宏, 等. 基于土地利用变化的玛纳斯河流域景观生态风险评价[J]. 生态学报, 2020, 40(18): 6472-6485.

[Kang Ziwei, Zhang Zhengyong, Wei Hong, et al. Landscape ecological risk assessment in Manas River Basin based on land use change[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(18): 6472–6485.]

[20] 环境保护部. 中华人民共和国国家环境保护标准 HJ-192-2015-生态环境状况评价技术规范[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2015. [Ministry of Environmental Protection. National environmental protection standard of the People's Republic of China HJ-192-2015-Technical specification for eco-environmental status assessment[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2015.]

[21] Tunusluoglu M C, Gokeeoglu C, Nefeslioglu H A, et al. Extraction of potential debris source areas by logistic regression technique: A case study from Barla, Besparmak and Kapi Mountains (NW Taurids, Turkey)[J]. Environmental Geology, 2008(54): 9–22.

[22] 张相旭. 重庆荒漠化时空过程变化及驱动力定量研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2018. [Zhang Xiangxu. Quantitative research on spatial-temporal changes and driving forces of desertification in Chongqing[D]. Chengdu: Chengdu Univerisity of Technology, 2018.]

[23] 李萍, 徐广. 石羊河流域荒漠化评价指标体系研究[J]. 中国水土保持, 2008(2): 24–27, 60. [Li Ping, Xu Guang. Study on desertification evaluation index system in Shiyang River Basin[J]. Soil and Water Conservation in China, 2008(2): 24–27, 60.]

[24] 龚新梅. 新疆土地荒漠化时空变化特征及驱动因子分析[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2007. [Gong Xinmei. The analysis of the features of temporal-spatial variation of desertification and its driving factor in Xinjiang[D]. Urumqi: Xinjiang University, 2007.]

[25] 卿巧玲, 黄云, 裴婵. 基于景观结构变化的生态风险评价与管控——以重庆市万州区为例[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(1): 174–184. [Qing Qiaoling, Huang Yun, Pei Chan. Eco-risk assessment and management based on landscape structure changes: A case study of Wanzhou District of Chongqing[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2021, 43 (1): 174–184.]

[26] 李路, 孙桂丽, 陆海燕, 等. 喀什地区生态脆弱性时空变化及驱动力分析[J]. 干旱区地理, 2021, 44(1): 277–288. [Li Lu, Sun Guili, Lu Haiyan, et al. Spatial-temporal variation and driving forces of ecological vulnerability in Kashi Prefecture[J]. Arid Land Geography, 2021, 44(1): 277–288.]

[27] 高焕霖, 张廷龙, 樊华烨, 等. 基于地理探测器的杨凌示范区生态环境质量影响因素定量分析[J]. 西北林学院学报, 2020, 35 (5): 185–194. [Gao Huanlin, Zhang Tinglong, Fan Huaye, et al. Quantitative analyse of the factors affecting ecological environment quality in Yangling Demonstration Zone based on geographical detector[J]. Journal of Northwest Forestry College, 2020, 35(5): 185–194.]

[28] 孙丽蓉, 周冬梅, 岑国璋, 等. 基于地理探测器模型的疏勒河流域景观生态风险评价及驱动因素分析[J]. 干旱区地理, 2021, 44(5): 1384–1395. [Sun Lirong, Zhou Dongmei, Cen Guozhang, et al. Landscape ecological risk assessment and driving factors of the Shule River Basin based on the geographic detector model[J]. Arid Land Geography, 2021, 44(5): 1384–1395.]

[29] 赵理可. 托克逊县休闲农业发展研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2019. [Zhao Like. Research on the development of leisure agriculture in Toksun County[D]. Shihezi: Shihezi University, 2019.]

[30] 骆云才. 新疆托克逊县麻黄草种植基地地下水资源开发利用现状与评价分析[J]. 地下水, 2017, 39(3): 44–46. [Luo Yuncai. Current situation and evaluation analysis of groundwater resources development and utilization in *Ephedra* planting base in Toksun County, Xinjiang[J]. Ground Water, 2017, 39(3): 44–46.]

[31] 黄越, 程静, 王鹏. 中国北方农牧交错区生态脆弱性时空演变格局与驱动因素——以盐池县为例[J]. 干旱区地理, 2021, 44(4): 1175–1185. [Huang Yue, Cheng Jing, Wang Peng. Spatiotemporal evolution pattern and driving factors of ecological vulnerability in agro-pastoral region in northern China: A case of Yanchi County in Ningxia[J]. Arid Land Geography, 2021, 44(4): 1175–1185.]

[32] 王含露, 孙桂丽. 荒漠区人工梭梭林接种肉苁蓉生态恢复效益评估——以吐鲁番市高昌区为例[J]. 安徽农业科学, 2018, 46 (4): 62–65. [Wang Hanlu, Sun Guili. Evaluation on ecological benefit of inoculated *Cistanche deserticola* in planted *Haloxylon ammodendron* in desert: Taking Gaochang District in Turpan City as an example[J]. Anhui Agricultural Science, 2018, 46(4): 62–65.]

[33] 张舒涵, 高敏华. 土地整治的可持续性评价研究——以新疆托克逊县为例[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(4): 762–766. [Zhang Shuhan, Gao Minhua. Sustainability evaluation of land remediation: A case study of Toksun County in Xinjiang[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2017, 56(4): 762–766.]

[34] 蒋蕾, 韩维峥, 孙丽娜. 基于景观生态风险的区域生态屏障建设研究[J]. 国土资源遥感, 2020, 32(4): 219–226. [Jiang Lei, Han Weizheng, Sun Lina. A study on regional ecological barrier construction based on landscape ecological risk[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2020, 32(4): 219–226.]

[35] 苏明磊. 艾丁湖生态环境演变分析及预测[J]. 科技信息, 2011 (24): 792–793. [Su Minglei. Analysis and prediction of the ecological environment evolution of Aiding Lake[J]. Science and Technology Information, 2011(24): 792–793.]

[36] 张锦春. 库姆塔格荒漠草地植被生态与环境变化[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2015. [Zhang Jinchun. Desert steppe vegetation ecology and environmental changes in Kumtag Desert[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2015.]

[37] 张国龙. 人类活动与气候变化影响下全球荒漠化风险研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2020. [Zhang Guolong. Global desertification vulnerability impacted by human activity and climate change[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2020.]

[38] 熊鹰, 汪敏, 袁海平, 等. 洞庭湖区景观生态风险评价及其时空演化[J]. 生态环境学报, 2020, 29(7): 1292–1301. [Xiong Ying, Wang Min, Yuan Haiping, et al. Landscape ecological risk assessment and its spatio-temporal evolution in Dongting Lake area[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2020, 29(7): 1292–1301.]

[39] 杨朝晖, 谢新民, 王浩, 等. 面向干旱区湖泊保护的水资源配置

思路——以艾丁湖流域为例[J]. 水利水电技术, 2017, 48(11): 31−35. [Yang Zhaohui, Xie Xinmin, Wang Hao, et al. Protection of lake in arid region-oriented idea for water resources allocation: Case of Aydingkol Lake watershed[J]. Water Conservancy and Hydropower Technology, 2017, 48(11): 31−35.]

[40] 徐伟伟. 吐鲁番市实施退地减水对策研究[J]. 水利发展研究, 2020, 20(4): 32−34, 56. [Xu Weiwei. Study on the countermeasures of land retirement and water reduction in Turpan City[J]. Water Development Research, 2020, 20(4): 32−34, 56.]

[41] 车晓旭. 人工绿洲建设对荒漠区植被动态的影响及其防沙树种选择[D]. 北京: 北京林业大学, 2020. [Che Xiaoxu. Influence of artificial oasis construction on vegetation dynamics in desert areas and selection of sand-proof tree species[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2020.]

Dynamic changes on desertification risk assessment and driving force analysis in Turpan City

SUN Guili[1,2], LI Xue[1], LIU Yanyan[1], ZHENG Jiaxiang[1], MA Jing, RAN Yajun[1]

(1. College of Forestry and Landscape Archiecture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China;
2. Key Laboratory of Forestry Ecology and Industrial Technology in Arid Areas, Urumqi 830052, Xinjiang, China)

Abstract: Desertification is one of the most severe ecological problems. The impact of desertification on ecology, production, and life cannot be ignored. Thus, establishing a desertification risk assessment system is essential to quantify the degree of desertification risk and control desertification risk, and achieve regional sustainable development. Based on 3S technology, this paper selects evaluation indicators from the human, underlying surface, and climatic factors to construct a desertification risk assessment system. It assesses and analyzes the desertification risk level of Turpan City, Xinjiang, China from 2000 to 2018. Additionally, the driving forces using geographic detectors are analyzed. The results are as follows. (1) The desertification risk area of Turpan City has significantly changed from 2000 to 2018, showing a trend of local deterioration and overall improvement. The desertification risk in the eastern region is higher than that in the western region. (2) The extremely high-risk area increased in Shanshan County during the study period. The extremely high-risk area is under control in Toksun County, which is significantly reduced. The extremely low-risk area in the central Gaochang District is reduced, and the low-risk distribution is relatively stable. (3) In the driving force analysis, the six index factors of sandstorm days, primary industry GDP, precipitation, habitat quality index, livestock quantity, and average temperature have a greater impact on the changes in desertification risk in Turpan City from 2000 to 2018. In the interaction between the two indicators, the coupling of sandstorm days with primary industry GDP, precipitation, habitat quality index, average temperature, and livestock quantity is the main factor promoting the desertification risk in Turpan City.

Key words: desertification risk; dynamic changes; driving force analysis; Turpan City